

第7回 複合構造セミナー

鋼コンクリート複合構造の弱点 — ずれ止めすべりコンクリートの乾燥収縮 —

高知工科大学 島 弘

1

複合構造との出会い(1990年～1991年)

序

鋼コンクリートサンドイッチ構造は、コンクリート施工に難点があり、その設計施工方法が確立されていなかった。鋼構造とコンクリート構造の特性をうまく生かせる付長があるにもかかわらず、あまり使用されていないのが現状である。しかし、最近、鋼筋の不要なコンクリートの開発が鋼コンクリート工法の難点を解消され、鋼コンクリートサンドイッチ構造に関する研究も活発に行われてきており、適切な設計方法が示され、その利用の可能性が高くなってきている。

このような背景のもと、土木学会コンクリート委員会(小針一博委員長)では、平成2年、二期鋼鉄協会研究基金からの研究助成を受け、鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会を設置して、設計指針(案)の作成に際しては中核的検討を重ねてきた。この間に、大量の試体による載荷試験を行い、指針(案)の有力算定式などの妥当性を検証するとともに、沈下量に留意した場合を想定した設計法を行い、鋼コンクリートサンドイッチ構造の有用性を示したのである。

本ライブラリーは、鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)のほか、これらの調査研究の概要を収録したものである。設計指針(案)と実設計については小委員会ならびにコンクリート委員会常任委員会の審議を経たものであるが、その他の付属資料は各執筆者の責任において書かれたものである。本ライブラリーの発行が、鋼コンクリートサンドイッチ構造の健全な普及発展に寄与することを期待している。

最後に、角田田中建設委員長、本ライブラリーの発行に至るまで親身的な努力を頂いた上田孝門幹事、本ライブラリーの付属資料を作成して頂いた岡田忠一郎、清沢理、垣井直樹、塩野俊幸、島弘の各氏名を始めとして関係者各位に厚く感謝の意を表します。

平成4年7月

鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会
委員長 岡村 甫

2

1

2

私の担当: シアコネクタのせん断伝達耐力

(2) 形鋼をシアコネクタとして用いる場合の設計せん断伝達耐力は、式(7.4.3)により求める(図7.4.1参照)。

$$V_{scd} = 17.85 h_{sc} w_{sc} f'_{cd}{}^{1/2} k_1 k_2 k_3 / \gamma_{b1} \dots (7.4.3)$$

ただし、 $V_{scd} > t_{sc0} w_{sc} f_{scyd} / \sqrt{3} / \gamma_{b2}$ となる場合は、 $V_{scd} = t_{sc0} w_{sc} f_{scyd} / \sqrt{3} / \gamma_{b2}$ とする。

ここに、
 $k_1 = 2.2 (l_{sc} / h_{sc})^{2/3}$ ただし、
 $k_2 = 0.4 (l_f / t_{sc})^{1/2} + 0.43$ したがって、
 $k_3 = (s_{sc} / h_{sc} / 10)^{1/2}$ ただし、

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度で、単位はkgf/cm²である。
 h_{sc} : シアコネクタの高さ
 w_{sc} : 作用せん断力と直角方向のシアコネクタの幅
 t_{sc0} : シアコネクタの溶接部を考慮した厚さもしくはシアコネクタの母材の厚さのうちいずれか小さい方
 f_{scyd} : シアコネクタの設計引張降伏強度
 l_f : シアコネクタがついている鋼板の厚さ
 l_{sc} : シアコネクタの長さ
 s_{sc} : 作用せん断力方向のシアコネクタの間隔

3

3

徳島大学での実験(1989年～1990年)

Chuah, H. Virach: 鋼コンクリート合成構造における板鋼シアコネクタの荷重-ずれ関係, 土木学会論文誌, No.433-V-15, 1991

シアコネクタ間隔が小さいと干渉して弱くなる

Fig. 4 Failure mode of specimen.

4

4

複合構造物の設計
限界状態設計法

構造物の非線形挙動

- ・耐震設計
- ・(有限要素解析)

力の釣合い

鋼材の構成式

相互作用

鋼材とコンクリートのずれ
(第3の構成式)

コンクリートの構成式

変形の適合条件

5

5

鋼材の応力-ひずみ式の現状と問題点 (土木学会)

単調引張

構造用鋼材(SS材, SM材)

鋼・合成構造標準示方書(2007年制定)

$$E' = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_s \cdot e^{-d(\varepsilon_s - \varepsilon_{s0})}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_s} = \frac{1}{\xi} \left\{ \frac{E'}{E_s} \left(e^{-d(\varepsilon_s - \varepsilon_{s0})} \right) + 1 \right\} \quad f_y \text{に収束しない}$$

Material	ξ	E'/E_s	d/σ_s
SS400	0.06	40	10
SM490	0.06	30	7
SM570	0.02	100	3

$\varepsilon = \infty$ の時 $\sigma = 1.56\sigma_s$
 $\varepsilon = 0.1$ の時 $\sigma = 1.51\sigma_s$

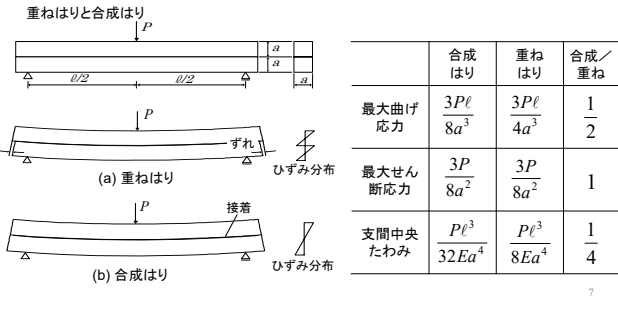
図-解 3.4.1 降伏後およびひずみ硬化域を有する鋼材の応力-ひずみ曲線 [土木学会, 1996]

6

6

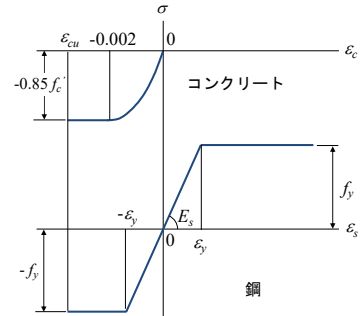
ずれ止めの必要性

引張力が作用する位置や部材に引張に強い鋼材を配置し、圧縮力が作用する位置や部材にコンクリートを配置し、材料間あるいは部材間に生じるせん断力をずれ止め等で伝達させることで、強度や剛性(断面2次モーメント)が大きくなる。



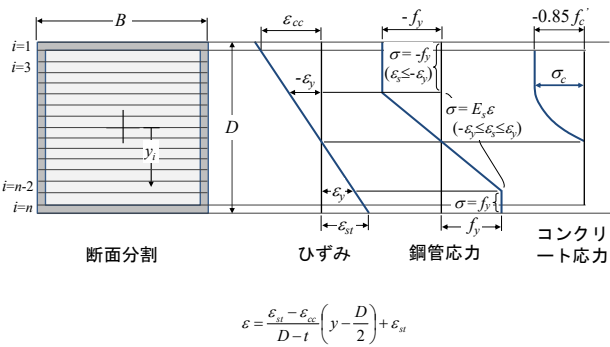
7

合成断面の曲げ計算



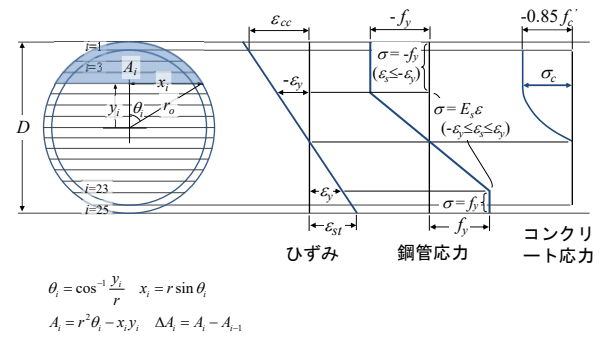
8

合成断面の曲げ計算



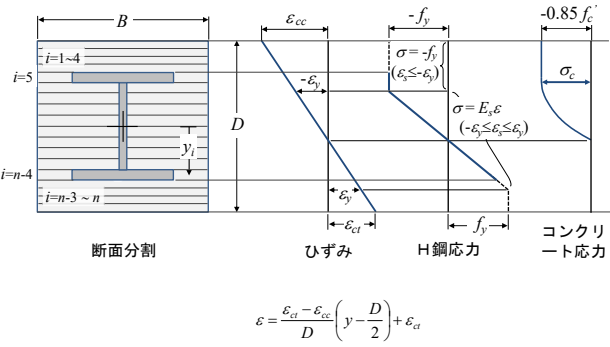
9

合成断面の曲げ計算



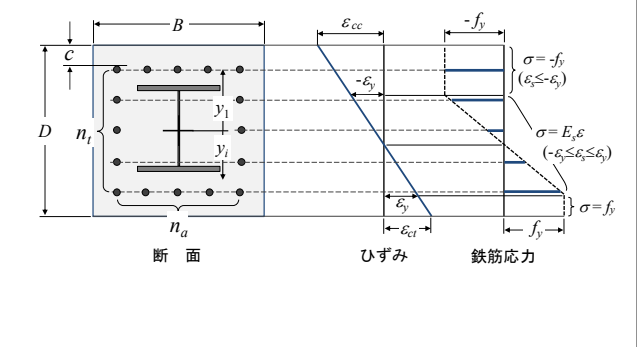
10

合成断面の曲げ計算

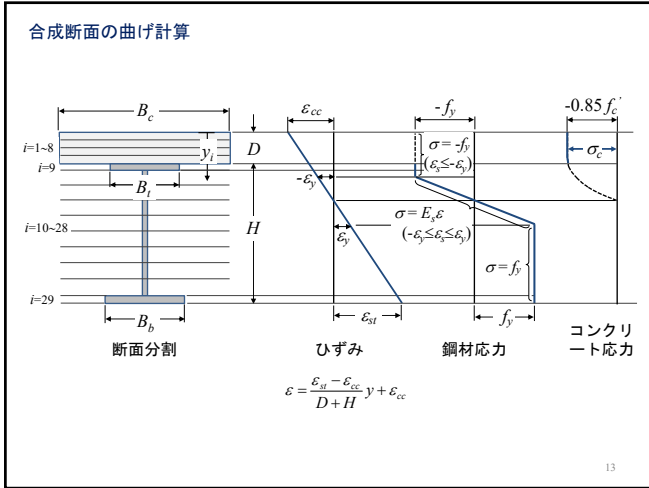


11

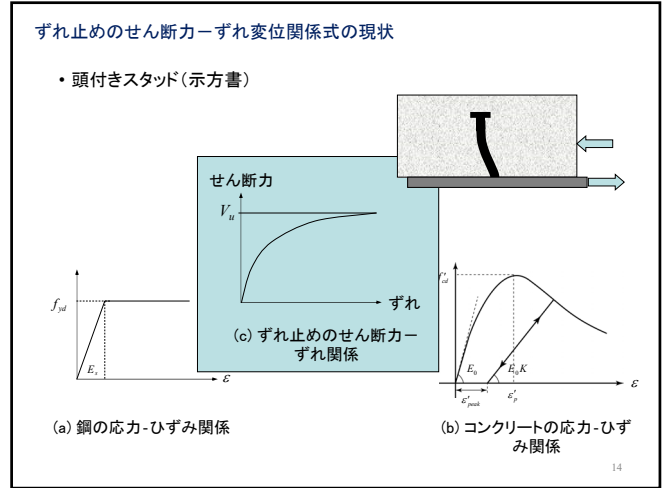
合成断面の曲げ計算



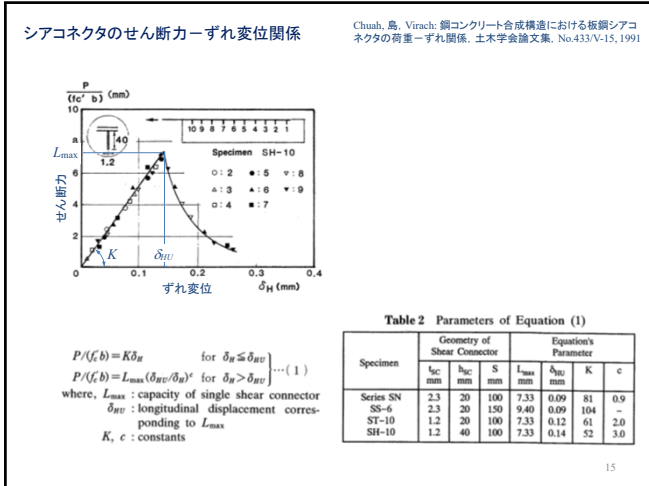
12



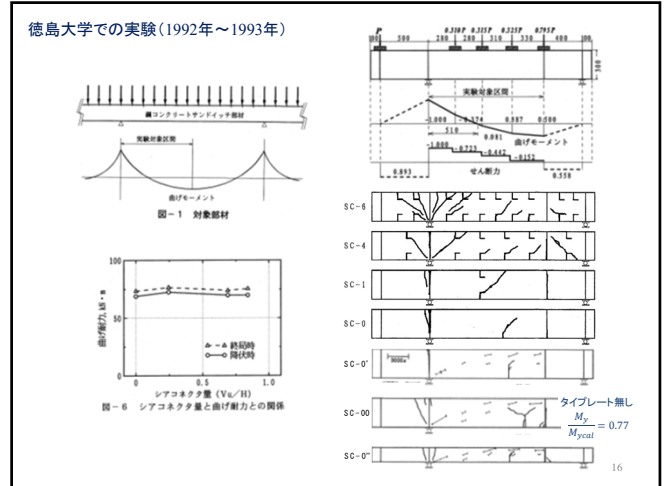
13



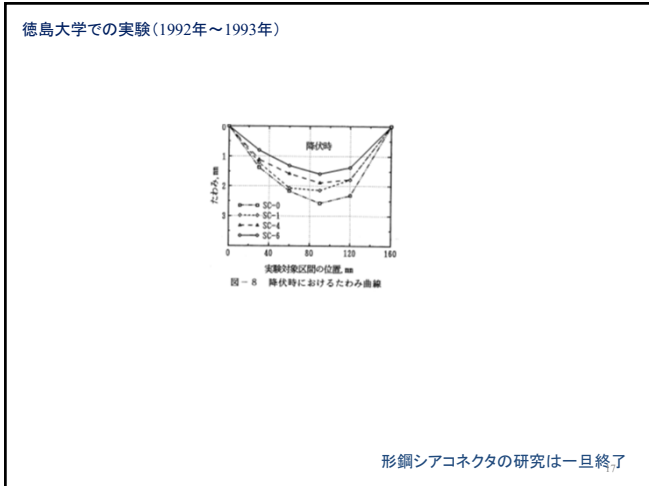
14



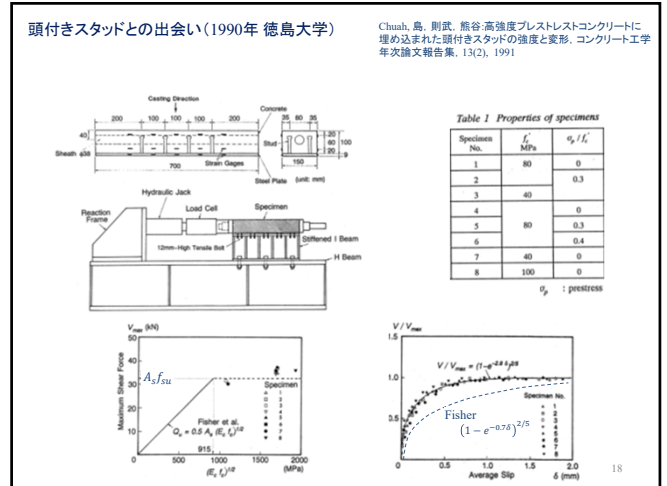
15



16

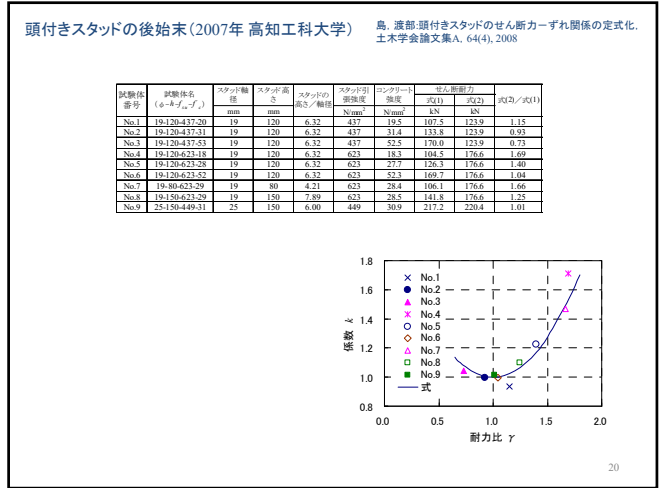


17



18

2002年 複合構造物の性能照査指針(案)
 2005年 複合構造委員会 発足 (上田委員長, 大垣幹事長, 島委員)
 2005年 複合構造物の性能照査例 (中島主査, 大垣幹事, 渡辺幹事)
 2005年 複合構造物の性能照査指針小委員会 (中村部会長, 中島, 渡辺, 島) (改訂)
 2009年制定 複合構造標準示方書
 頭付きスタッドのせん断力-ずれ変位曲線の提示
 2009年~2013年 複合構造委員会 ずれ止め研究小委員会 (中島委員長, 渡辺幹事長)
 2014年制定 複合構造標準示方書
 頭付きスタッド式に鋼板との摩擦の影響を導入
 形鋼シアコネクタの圧縮斜材に対するせん断力-ずれ変位関係



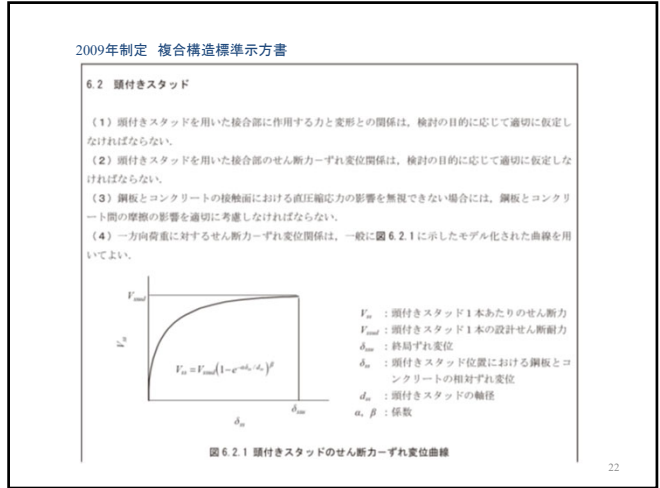
2009年制定 複合構造標準示方書

序

複合構造委員会では2005年に「複合構造物の性能照査例」を刊行した後、「複合構造物の性能照査指針(案)」を改訂するために、複合構造物の性能照査指針小委員会を設立しました。この委員会では、旧指針(案)に対して、まず共通編では、①構造計画の新設、②材料構成則の取込み、③ずれ止めの規定の深度化、さらに、④混合構造編に替わる異種部材接合部編の新設、⑤それに対して、複数の編に分かれていた各種合成部材を、合成部材としてまとめ、また技術の進歩に伴う項目追加・削除の対応を行いました。この委員

2009年12月

土木学会複合構造委員会
 複合構造標準示方書小委員会
 委員長 上田 多門



2009年制定 複合構造標準示方書

【解説】

スタッドの直径が19~25mm、高さが80~150mm、引張強度が400~623N/mm²、コンクリートの圧縮強度が18~53N/mm²、 h_{ef}/d_s が4~8、接合面に直角方向に作用する圧縮力をスタッドの断面積で除した応力が120 N/mm²程度以下の場合の頭付きスタッドの終局ずれ変位および係数 α および β は、式(解6.2.3)から式(解6.2.5)に示す式を用いて算定してよい(Aタイプ、スタッドのタイプは解説図6.2.1による)。

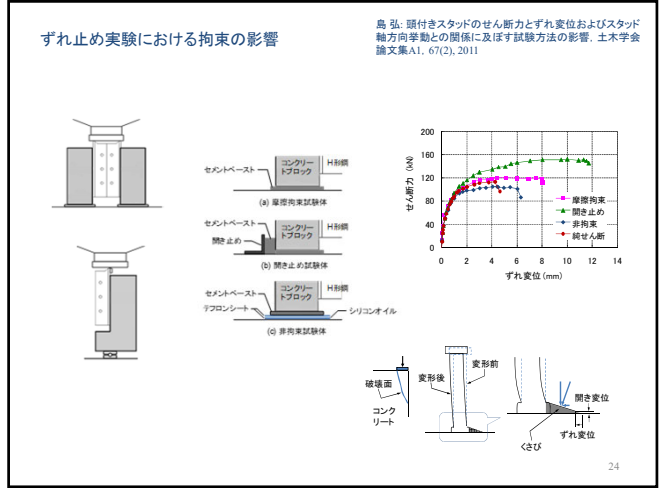
$$\delta_{um} = 0.3 d_s \quad (\text{解 } 6.2.3)$$

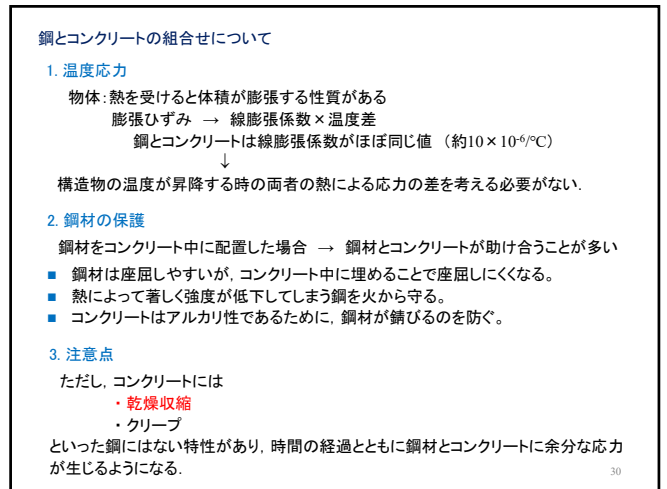
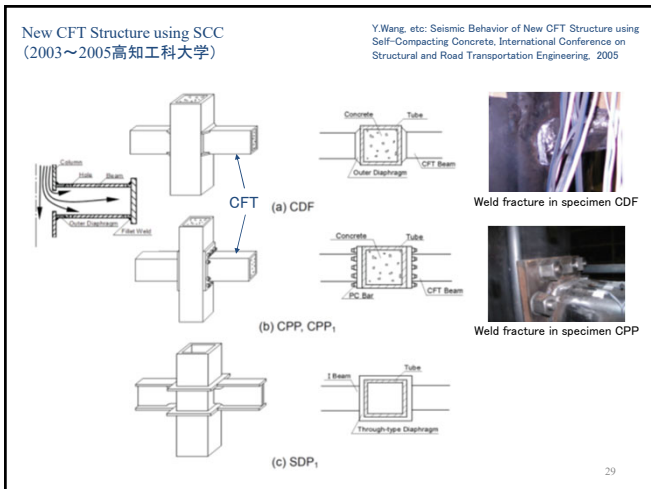
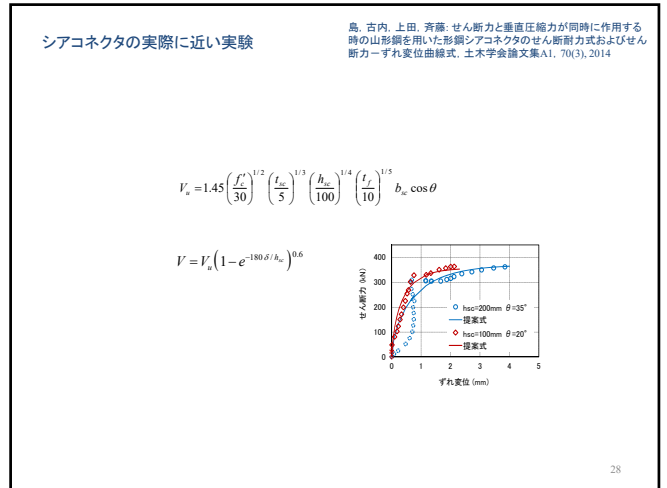
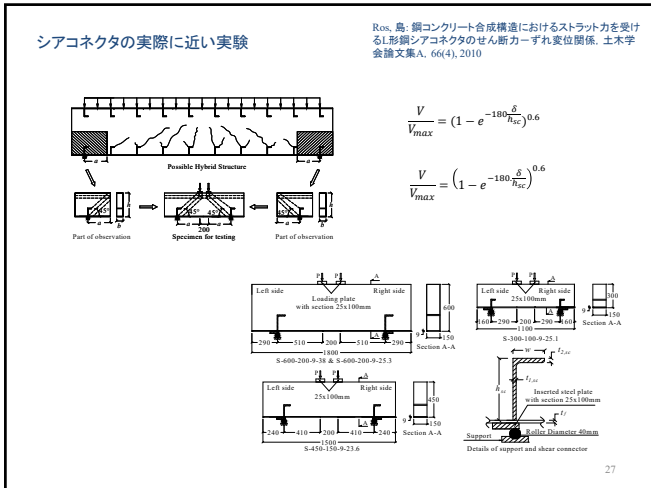
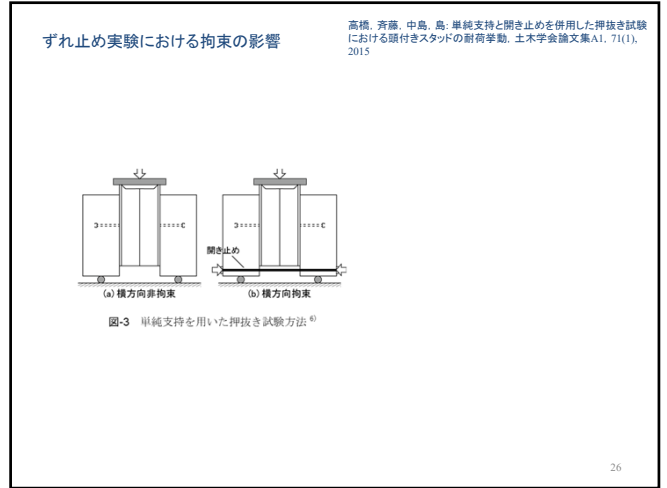
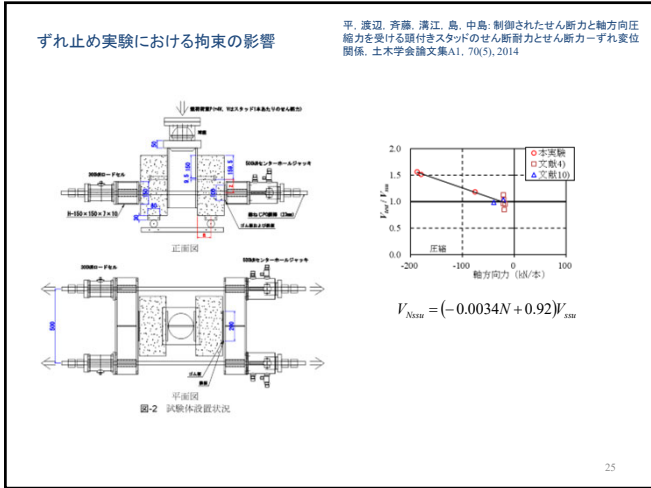
ここに、
 δ_{um} : スタッドの終局ずれ変位 (mm)
 d_s : スタッドの軸径 (mm)

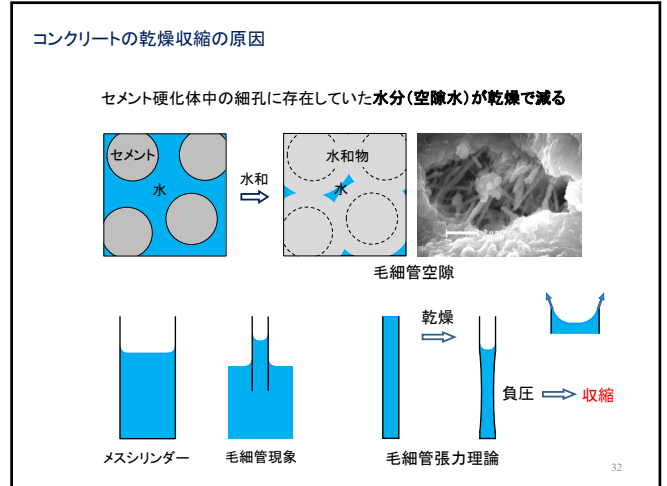
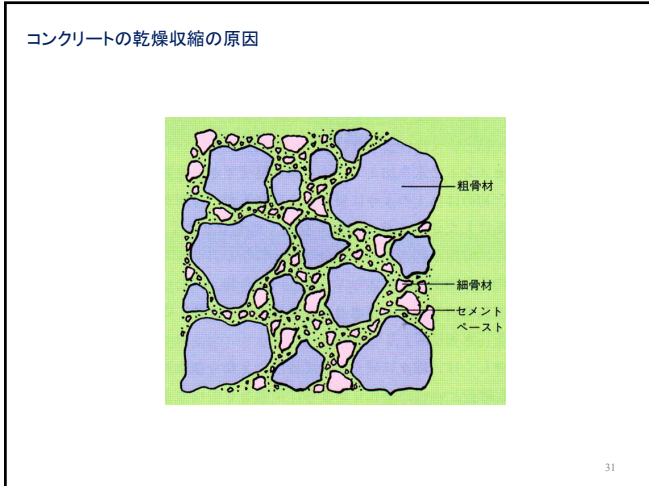
$$\alpha = 11.5 \left(\frac{f_{cd}}{f_{ck}} \right) \left[1.1 (\eta - 1)^2 + 1 \right] \quad (\text{解 } 6.2.4)$$

$$\beta = 0.4 \quad (\text{解 } 6.2.5)$$

ここに、
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$
 f_{ck} : コンクリートの圧縮強度の特性値 (N/mm²)
 γ_c : コンクリートの材料係数
 $f_{ck} = 30$ (N/mm²)
 η : 破壊モードに関する係数で、式(解6.2.2)の値に対する式(解6.2.1)の値の比

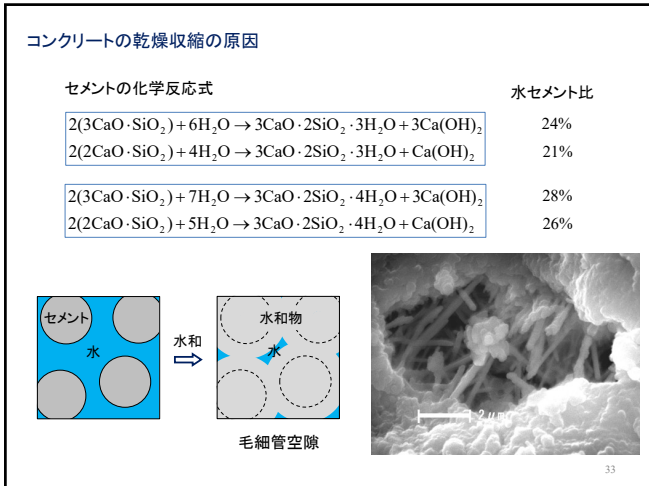




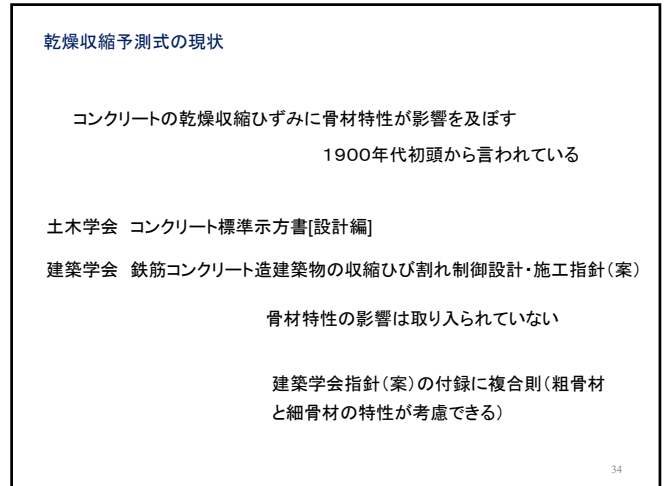


31

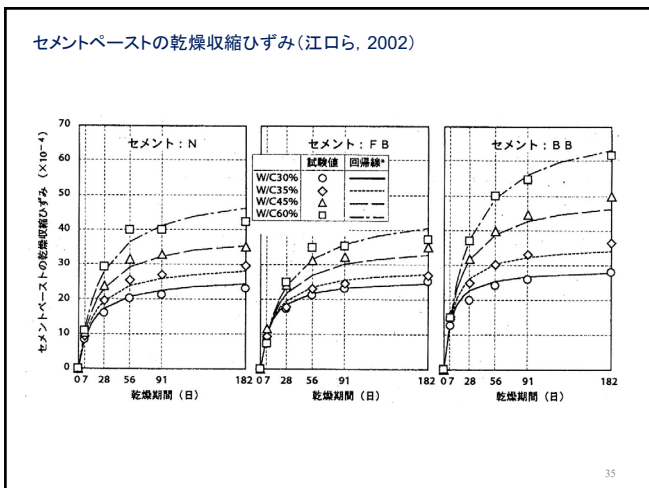
32



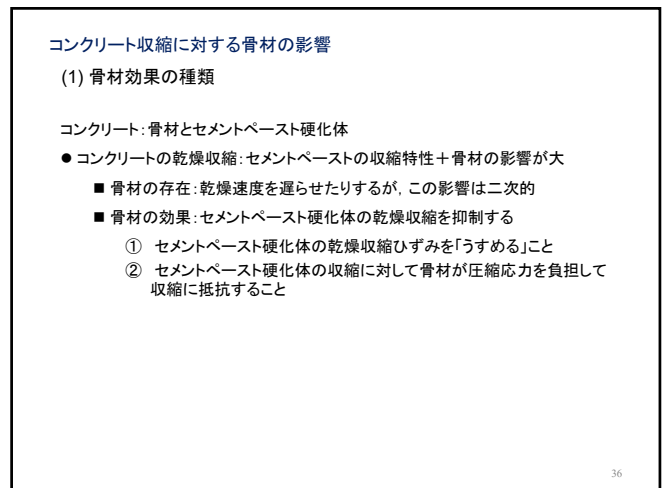
33



34



35



36

コンクリート収縮に対する骨材の影響
(2) 単位骨材容積の影響

収縮方向

骨材 セメントペースト

直列複合則

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = 1 - V_a$$

乾燥収縮ひずみの比 $\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p}$

骨材体積率 V_a

37

37

コンクリート収縮に対する骨材の影響
(3) 骨材特性の影響
a) ヤング係数

収縮方向

骨材 セメントペースト

並列複合則

$$E_a \varepsilon_c V_a = E_p (\varepsilon_p - \varepsilon_c) (1 - V_a)$$

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = \frac{1 - V_a}{1 + (E_a / E_p - 1) V_a}$$

乾燥収縮ひずみの比 $\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p}$

骨材容積率 V_a

38

38

コンクリート収縮に対する骨材の影響
(3) 骨材特性の影響
b) 乾燥収縮

収縮方向

骨材 セメントペースト

骨材の収縮を考えた並列複合則 (大野・1953)

$$E_a (\varepsilon_c - \varepsilon_a) V_a = E_p (\varepsilon_p - \varepsilon_c) (1 - V_a)$$

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = \frac{1 + \left(\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_p} \frac{E_a}{E_p} - 1 \right) V_a}{1 + \left(\frac{E_a}{E_p} - 1 \right) V_a}$$

39

39

球殻モデル
(1) ひずみ拘束モデル

骨材

コンクリート

ひずみ拘束モデル (Pickett・1956)

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = (1 - V_a)^\alpha + \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_p}$$

$$\alpha = \frac{3(1 - \mu_c)}{1 + \mu_c + 2(1 - 2\mu_a) E_c / E_a}$$

40

40

球殻モデル
(2) 毛細管張力モデル

粒子(骨材)

マトリックス (ペースト, モルタル)

孔

複合材料 (モルタル, コンクリート)

毛細管張力モデル (岸谷・馬場 1975)

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = \frac{1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_p} \frac{E_a}{E_p} \right) V_a}{E_c / E_p}$$

$$\frac{E_c}{E_p} = \frac{\frac{E_a}{E_p} + 1 + \left(\frac{E_a}{E_p} - 1 \right) V_a}{\frac{E_a}{E_p} + 1 - \left(\frac{E_a}{E_p} - 1 \right) V_a}$$

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = \frac{\{1 - (1 - m \cdot n) V_a\} \{n + 1 - (n - 1) V_a\}}{n + 1 + (n - 1) V_a}$$

41

41

三相複合モデル(セメントペースト+細骨材+粗骨材)

モルタル

粗骨材

細骨材

セメントペースト

モルタル (粗骨材)

コンクリート (粗骨材)

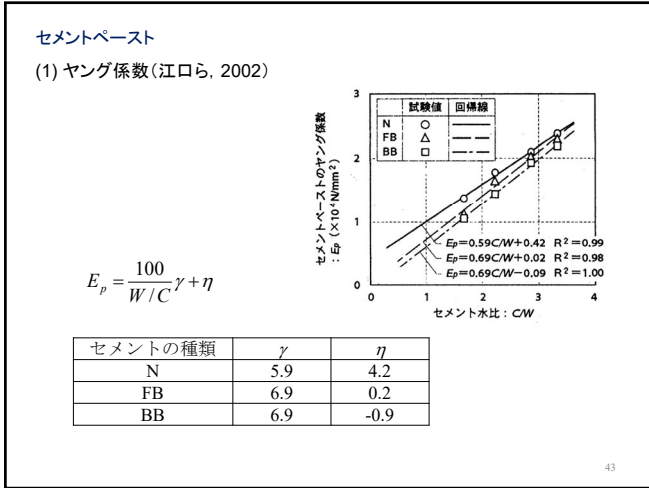
三相複合モデル (寺西・佐藤 2006)

$$\frac{E_c}{E_p} = \frac{1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p} \frac{E_s}{E_p} \right) V_s - \left(1 - \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_p} \frac{E_g}{E_p} \right) V_g}{E_c / E_p}$$

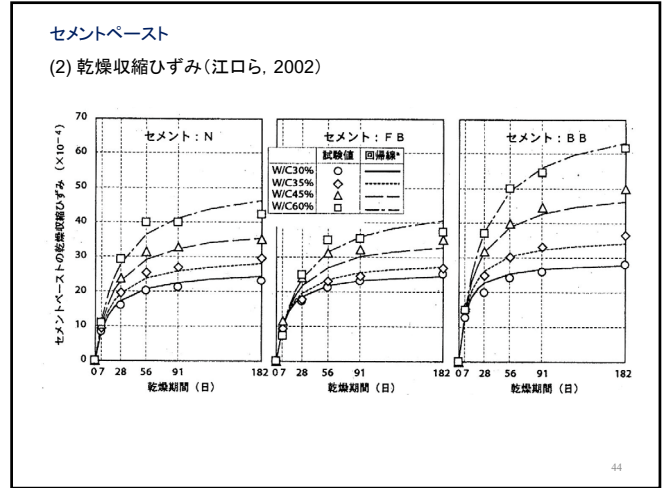
$$\frac{E_c}{E_p} = 1 + \frac{2(n_s - 1)V_s}{n_s + 1 - (n_s - 1)(V_s + V_g)} + \frac{2(n_g - 1)V_g}{n_g + 1 - (n_g - 1)(V_s + V_g)}$$

42

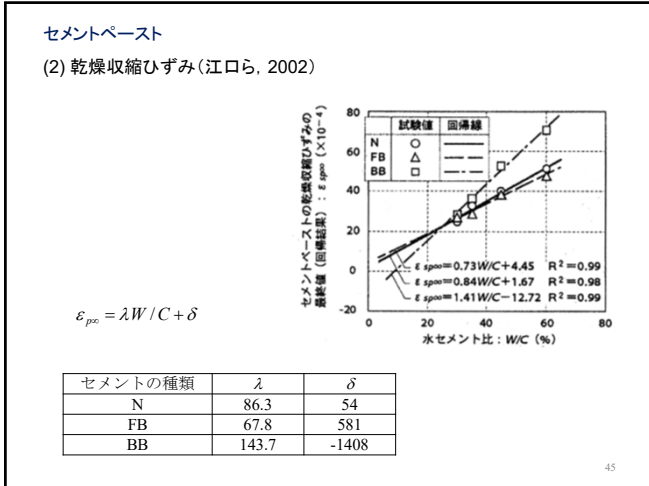
42



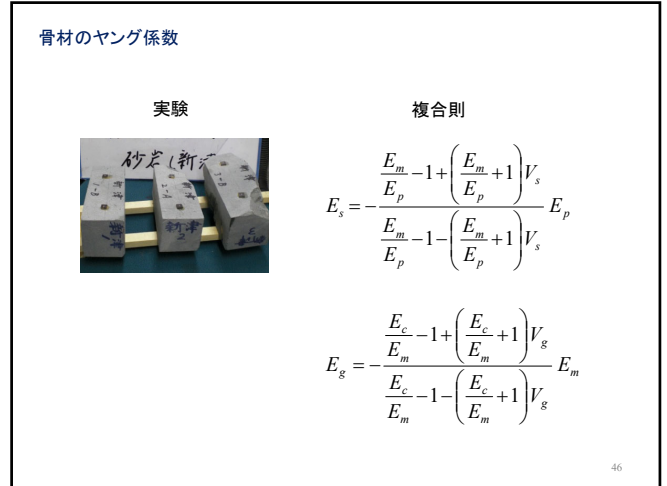
43



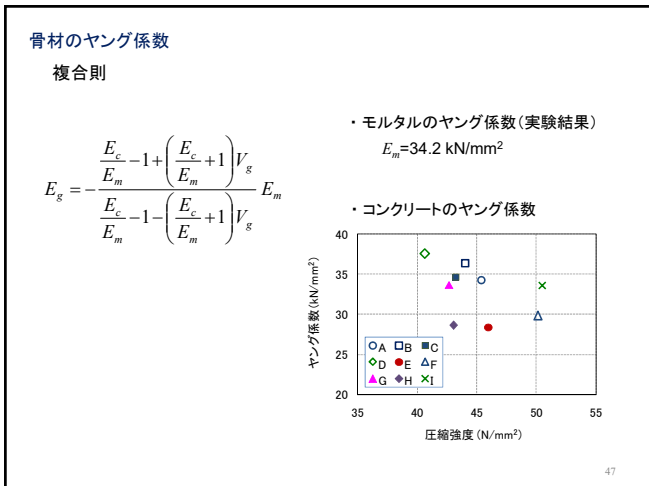
44



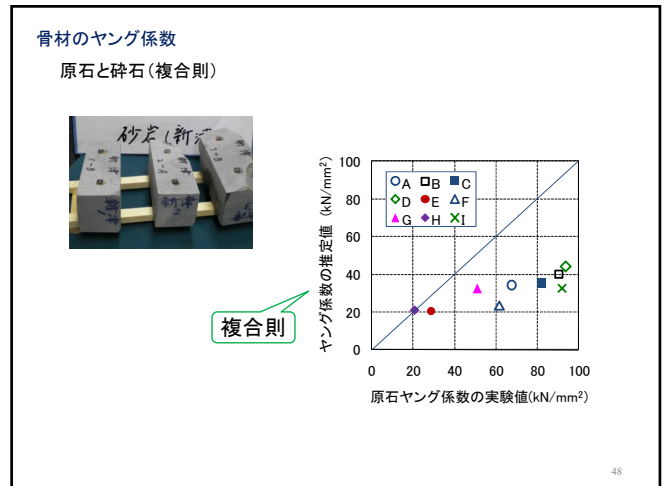
45



46



47



48

